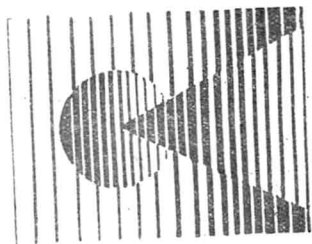


初中教师进修用书

普通物理实验

丁贤盛 邓五喜 简玉琼 谢世汉 王建模

江西教育出版社



初中教师进修用书

普通物理实验

丁贤盛 邓五喜 简玉琼 谢世汉 王建模

江西教育出版社

一九八五年·南昌

普通物理实验

丁贤盛 邓五喜 简玉琼 谢世汉 王建模

江西教育出版社

(南昌市第四交通路铁道东路)

江西省新华书店发行 江西印刷公司印刷

开本 787×1092 1/32 印张9.375 字数21万

1985年7月第1版 1985年7月第1次印刷

印数1—11,000

统一书号: 7424·11 定价: 1.46元

出版说明

《初中教师进修用书》是为了适应培训教师的需要，由华东地区上海、山东、江苏、安徽、浙江、江西、福建等六省一市八家出版社协作组织编写出版的。目的是供在职初中教师业余进修，帮助他们系统地学习和掌握有关专业的基础理论、基本知识和基本技能，提高文化水平和教学能力，以便在一定时间内通过考核达到两年制高等师范专科毕业水平。

这套用书，共有语文、数学、政治、历史、地理、物理、化学、生物八个专业，六十六种，编写当中，在坚持四项基本原则，坚持思想性和科学性相统一的前提下，注意了以下几个方面：

一、根据教育部制订的高等师范专科学校教学大纲的要求，确定各册内容的深度和广度，既体现各学科知识的系统性，又力求做到简明、精练，避免繁琐。

二、以提高教师科学文化水平为主，适当联系中学教材和教学实际，把提高知识水平和提高教学能力有机地结合起来，达到学以致用目的。

三、从初中教师的实际水平出发，循序渐进，逐步提高要求；重视讲清学习中的难点和疑点，文字力求浅显易懂；并根据自学或函授的需要，配置必要的提示、注释、思考题和提供参考书目等学习辅助材料。

协作编写教师进修用书，尚属初次尝试。我们将在实践过程中广泛听取读者的意见和建议，努力提高书籍质量。

这套用书除供初中教师自学进修外，也可供其他同等文化程度同志使用。

前 言

本书是根据教育部制订的高等师范专科学校教学大纲的要求，在总结了多年教学实践经验的基础上编写的，它既可供在职初中教师进修使用，也可供师范专科学校、业大、电大、函大、自修大学的同志参考。

本书的编写，突出了基本物理量的测量和基本仪器的使用，对误差分析和数据处理也作了一定程度的介绍。考虑到各地的教学仪器设备不尽相同，部分实验题目介绍了两种不同的方法，供各校选用。为了使初中教师便于自学，无论实验原理还是实验方法都力求写得清楚一些和详细一些。每个实验的后面都附有思考题，它有助于读者加深对所做实验的理解和提高。

参加本书编写的有邓五喜（实验十六、十七、十九、二十一、二十五、二十七、三十、三十二）、简玉琼（实验八、九、十一、十二、十四）、谢世汉（实验四、五、七、十、十三）、丁贤盛（绪论和实验十五、十八、二十、二十二、二十三、二十四、二十六、二十八、二十九、三十一）和王建模（实验一、二、三、六）。全书由丁贤盛同志统稿。

由于我们水平有限，书中可能存在不少缺点和错误，诚恳地希望读者提出宝贵意见。

编 者

1984年9月

目 录

绪论	(1)
一、物理实验的地位和作用	(1)
二、测量与误差的基本概念	(2)
三、误差的合理估计	(5)
四、发现和消除(减小)系统误差的一般知识	(18)
五、有效数字及其运算	(23)
六、实验的数据处理	(29)
七、物理实验的三个环节	(32)
实验一 长度测量 (I)	(37)
实验二 长度测量 (II)	(47)
实验三 固体和液体密度的测定	(52)
实验四 物体运动速度的研究	(59)
实验五 验证牛顿第二定律	(63)
实验六 用单摆测重力加速度	(69)
实验七 碰撞实验	(74)
实验八 刚体转动实验	(78)
实验九 杨氏模量的测定	(84)
一、用光杠杆法测量	(85)
二、用悬架水准法测量	(93)
实验十 弹簧振子的简谐振动	(96)
实验十一 玻意耳—马略特定律	(101)

实验十二	水的汽化热的测定	(105)
实验十三	用混合法测金属的比热容	(112)
实验十四	固体线膨胀系数的测定	(116)
实验十五	电学基本仪器的认识与使用	(121)
实验十六	静电场的描绘	(135)
实验十七	电表的改装和校正	(142)
实验十八	万用电表的使用	(148)
实验十九	用伏安法测电阻	(157)
实验二十	用惠斯通电桥测电阻	(163)
实验二十一	用电位差计测干电池的电动势 和内电阻	(170)
实验二十二	灵敏电流计的研究	(178)
实验二十三	电子示波器的使用	(187)
实验二十四	用霍尔效应法测螺线管内的磁 感应强度	(196)
实验二十五	交流电桥	(204)
实验二十六	RLC 的串联谐振	(210)
实验二十七	薄透镜焦距的测定	(216)
实验二十八	望远镜、显微镜放大率的测定	(224)
实验二十九	分光计的调整和三棱镜折射率 的测定*	(233)
实验三十	光的干涉	(245)
	一、牛顿环的干涉	(245)
	二、用双棱镜干涉测光波波长	(249)
实验三十一	光的衍射	(256)

一、单缝衍射测光强分布	(256)
二、用透射光栅测光波波长	(262)
实验三十二 光的偏振	(269)
一、偏振光的获得和鉴别	(269)
二、用旋光仪测量糖溶液的旋光率	(274)
附录一 一维气垫仪器的结构和使用	(278)
附录二 普遍物理实验室常用光源	(284)
附表一 在标准大气压下不同温度时水的密度	(287)
附表二 几种固体材料在常温范围内的线膨 胀系数	(288)
附表三 水银灯谱线波长表	(289)

绪 论

一、物理实验的地位和作用

物理学从本质上来说是一门实验的科学。物理概念的建立和物理规律的发现，都必须概括大量的实验事实，都必须以严格的科学实验为基础；另一方面，物理规律的正确与否、适用范围如何，也必须通过实验的检验才能正确回答。例如：杨氏的干涉实验使光的波动学说得以建立；赫兹的电磁波实验使麦克斯韦的电磁理论得到普遍承认；迈克耳逊—莫雷的干涉仪实验否定了“以太”的存在，导致了爱因斯坦狭义相对论的建立，等等。

要想深刻地理解物理概念，善于将物理规律应用到实践中去，为我们伟大的社会主义祖国的四个现代化服务，光凭书本上的理论知识而没有起码的物理实验的训练是办不到的。对我们从事物理教学的工作者来说，只有掌握了物理实验的基本知识和技能，才能在教学中多做和做好课堂演示实验以及学生分组实验，才能在教学中做到生动活泼、富有直观性，使学生对物理知识易于接受、印象深刻，才能培养学生对物理学的浓厚兴趣。

物理实验的目的和任务是：

1. 通过系统的物理实验的训练，使学生具有一定的物理实验基本知识和基本技能。其中包括：

(1) 掌握基本物理量(如长度、时间、质量、速度、加速度、比热、膨胀系数、电流、电压、电动势、电阻、电感、电容、焦距、折射率、光波波长,等等)的测量原理和测量方法.

(2) 熟悉基本仪器(如游标尺、天平、气垫导轨、量热器、电表、电桥、电位差计、示波器、望远镜、读数显微镜、分光计、迈克耳逊干涉仪,等等)的基本原理和性能,掌握其使用方法.

(3) 能够正确处理实验数据,分析实验结果的准确程度,并能写出比较完整的实验报告.

2. 培养和提高学生的观察与分析实验现象的能力,以及理论联系实际的独立工作能力. 通过实验中的观察、测量和分析,加深对物理概念、物理规律的理解.

3. 培养学生严肃认真的工作作风和实事求是的科学态度.

二、测量与误差的基本概念

(一) 测量分类

测量, 分为直接测量和间接测量.

1. 直接测量: 就是直接将待测的物理量与预先选定的作为标准的单位(如“米”、“千克”、“秒”、“安培”等)进行比较. 用米尺测量长度, 用秒表测量时间, 用安培表测量电流强度, 用电桥测量电阻, ……这些都是直接测量的实例.

值得指出的是, 直接测量并不意味着全是用直读式仪表进行测量. 许多比较式仪器(天平、电桥、电位差计等),

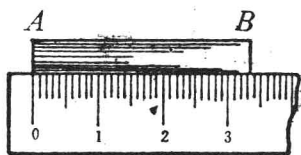
虽然不一定能从仪器的刻度盘上直接读出被测量的数值，但因参予测量的物理量就是被测量本身，所以这种测量仍然属于直接测量。

2. 间接测量：对于大多数物理量来说是不可能直接测量的，只能用间接的办法进行测量。所谓间接测量，就是先测量可以直接测量的若干物理量，再根据已知规律或公式进行计算，从而间接求出被测量的数值。例如：在测定铜柱的密度时，先直接测量它的长度和直径，再用天平直接测量它的质量，就可间接算出它的密度。又如用伏安法测电阻，就是先用安培表直接测量通过该电阻的电流强度，用伏特表直接测量该电阻两端的电压，再根据欧姆定律就可算出该电阻的阻值。

（二）误差和误差分类

物理测量的目的，总是期望能够获得被测量的真实数值，即所谓“真值”。但是实际测量中，无论我们用什么方法，无论使用何等精密的仪器，测量的结果与真值之间总归存在着差别。这种差别我们称之为误差。

例如，用米尺测量一根铜棒 AB 的长度（图一），即使我们使用的是绝对准确的米尺，端点 A 与零线绝对对准，对不同的测



图一 用米尺测量长度

量者来说，端点 B 的读数也很可能不同：有的读成 33.1mm ，有的读成 33.2mm ，也有的读成 33.3mm 。这三个读数的最后一位都是测量者凭眼力主观估计的，是可疑数字，因而很难说哪个读数最为准确；何况米尺本身不可能绝对准确，端点

A 也不可能与零线完全对准。这就是说，该铜棒的真值是不可能测定的。其它任何测量也都毫无例外地存在着误差。

为了使测量获得比较准确的结果，我们必须分析产生误差的原因，并寻找减小误差的方法，力图使测量结果接近真值；同样重要的是，还必须科学地估计测量结果的可靠程度，即指明测量结果的误差范围。

误差，按其产生原因和特点，可分为系统误差、偶然误差和粗差三种。

1. 系统误差：在一定的条件下（指仪器、方法、环境和测量者一定）对同一物理量进行多次测量时，如果各次测量的误差为一常数，或者误差的数值和符号按一定的规律变化，具有这种特点的误差称为系统误差。产生系统误差的原因是测量仪器的固有缺陷（如刻度不准、零点未调好、元件老化等），实验环境不符合要求（如温度和气压的偏高或偏低、恒定外电场或外磁场的影响等），实验理论和测量方法的近似性，以及测量者的某些固有习惯（如撤停表的习惯性超前或滞后），等等。

2. 偶然误差：它是由于许多不稳定的因素所引起的误差，如电源电压的不稳定所引起的输出电流的波动、外界环境的不稳定所产生的干扰（如气流不稳定、室温不均匀、周围电磁场的偶然干扰）、以及人眼估计读数的偶然性等。由于这些不可避免的偶然因素的影响，对同一物理量进行多次重复测量时，结果往往各不相同，有时大一点，有时又小一点，在一定的数值范围内波动。专门的误差理论可以证明，虽然这些测量结果各不相同，但就其数值的分布而言，却有

一定的规律性，即这些数值服从统计分布规律。

3.粗差：这种误差是由于某个外界因素的强烈影响而实验者没有觉察到，或者由于使用了错误的操作方法，致使实验数据偏离正常值特别大。粗差也可能是由于实验者的粗心大意而引起的，如将28.3误读为23.8。在处理实验数据时，如确认某个数据属于粗差，那么应将此数据剔除出去，不参予计算。

三、误差的合理估计

(一) 一次直接测量的误差估计

在物理实验中，常常由于条件不许可，不可能对同一物理量进行多次测量；有的物理量也无需测量多次，只测一次就可以。这时可根据实际情况对测量得到的数值（以下简称测得值）的误差进行合理的估计。具体情况不同，估计的方法也不一样，不能一概而论。在一般情况下，对于偶然误差很小的测得值，可按仪器出厂检定书或仪器铭牌上注明的仪器误差作为一次测量的误差。如果没有注明，也可按仪器的最小刻度的值作为一次测量的误差。这是因为通常的计量仪器的最小刻度值是按仪器所能达到的准确度来确定的。例如：用米尺测量一根铜条的长度，测得值为356.4毫米（其中最后一位的“4”是估计的），如果只测一次的话，那么就可取米尺的最小刻度值（1毫米）为所测长度的误差，于是把测量结果写成 (356 ± 1) 毫米。

(二) 多次直接测量的误差

在测量过程中，即使完全消除了系统误差，偶然误差也

不可避免地存在,就是说不可能测到真值.那么,怎样才能得到真值呢?假定不存在系统误差,如果测量次数无限多,则根据偶然误差的统计分布规律,无限多次的**算术平均值**就是被测量的真值.

但在实际测量中,测量次数不可能无限多,只能是有限次.有限次的算术平均值就不是真值,而是近似的真值,或称**最佳值**,又称**最可信赖值**.随着测量次数的增加,最佳值就愈接近于真值,可信赖的程度就愈高.

设被测物理量为 x ,各次测得值分别为:

$$x_1, x_2, x_3, \dots, x_N,$$

则被测量的算术平均值为:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_N}{N} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}.$$

在这种情况下,被测量的误差可用**算术平均偏差**表示,也可用**标准偏差**表示.

1. 算术平均偏差

设第 i 次的测得值 x_i 与算术平均值 $\bar{x}$ 的偏差为 Δx_i

$$(i=1, 2, 3, \dots, N),$$

$$\text{即 } \Delta x_1 = x_1 - \bar{x}, \Delta x_2 = x_2 - \bar{x}, \dots, \Delta x_N = x_N - \bar{x},$$

则算术平均偏差为:

$$\Delta x = \frac{|\Delta x_1| + |\Delta x_2| + \dots + |\Delta x_N|}{N} = \frac{\sum_{i=1}^N |\Delta x_i|}{N}.$$

2. 标准偏差

设第 i 次的测得值 x_i 与算术平均值 $\bar{x}$ 的偏差仍记为 Δx_i ,

则算术平均值 $\bar{x}$ 的标准偏差定义为:

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\Delta x_i)^2}{N(N-1)}}^*$$

算术平均偏差 Δx 和标准偏差 $\sigma_{\bar{x}}$ 都可作为测得值 x 的误差的量度, 它们都表示多次测量时各个数据之间的离散程度. 如果各个数据之间差别较大, 那么算术平均偏差 Δx 和标准偏差 $\sigma_{\bar{x}}$ 也都较大, 这说明偶然误差较大; 反之, 如果某一列测量数据的值都非常接近, 则这列数据的算术平均偏差和标准偏差都很小, 这说明偶然误差小.

在上述两种误差的表示方法中, 标准偏差跟偶然误差理论中的高斯分布函数的关系更为直接和简明. 因此在正式的误差分析和计算中都采用标准偏差作为偶然误差大小的量度, 这是目前通用的标准的表达方式, 所以称它为 **标准偏差**, 简称 **标准差**. 但对初学者来说, 主要是树立误差的概念, 以及对实验数据的好坏作出粗略的判断. 因此, 可采用计算较为简便的算术平均偏差来进行误差的分析和计算.

严格地说, **误差** 和 **偏差** 是两个含义不同的概念. 误差是测得值与真值之差, 而偏差则是测得值与算术平均值之差. 但是, 当测量次数比较多时, 算术平均值与真值差别很小, 即测得值的偏差与测得值的误差两者数值接近. 因此, 以后我们不去区分偏差与误差的细微差别, 把算术平均偏差和标准偏差分别称为 **算术平均误差** 和 **标准误差** 或 **标准差**.

我们把多次直接测量的结果用如下方式表示:

*可参阅刘智敏编《误差与数据处理》.

$$x = \bar{x} \pm \Delta x,$$

或

$$x = \bar{x} \pm \sigma_{\bar{x}}.$$

式中： x 为被测量的测得值；

$\bar{x}$ 为多次测量的算术平均值；

Δx 为算术平均误差；

$\sigma_{\bar{x}}$ 为平均值的标准差。

其中符号“ $\pm$ ”表示每次测量的测得值可能比 $\bar{x}$ 大一些，也可能比 $\bar{x}$ 小一些。

例题：将某一凸透镜的焦距测量十次，其数值分别为：
(单位：厘米)

$$x_1 = 19.8, \quad x_2 = 19.7,$$

$$x_3 = 20.0, \quad x_4 = 20.2,$$

$$x_5 = 20.0, \quad x_6 = 20.3,$$

$$x_7 = 19.8, \quad x_8 = 20.1,$$

$$x_9 = 19.7, \quad x_{10} = 20.1.$$

求焦距 f 的算术平均值、算术平均误差和标准差。

解：(1) 算术平均值

$$\begin{aligned} \bar{f} &= \frac{1}{10} (19.8 + 19.7 + 20.0 + 20.2 + 20.0 \\ &\quad + 20.3 + 19.8 + 20.1 + 19.7 + 20.1) \\ &= 20.0 \text{ (厘米)}. \end{aligned}$$

(2) 算术平均误差

$$\because \Delta f_1 = 19.8 - 20.0 = -0.2,$$

$$\Delta f_2 = 19.7 - 20.0 = -0.3,$$

$$\Delta f_3 = 20.0 - 20.0 = 0,$$